

# Studi Eksperimental tentang Pengaruh Sudut Putar terhadap Gaya Angkat untuk Berbagai Sudut Potong pada Bola

Astu Pudjanarsa

Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS

Email: astu@me.its.ac.id

## ABSTRAK

Studi eksperimental tentang pengaruh sudut putar terhadap gaya angkat untuk berbagai sudut potong pada bola telah dilakukan. Sudut potong yang digunakan adalah 30°, 45°, 53°, 55°, dan 75°. Gaya angkat diukur dengan menggunakan timbangan gaya pada terowongan angin dan kecepatan angin diatur sehingga didapat bilangan Reynolds aliran  $5,3 \times 10^4$  dan  $6,0 \times 10^4$ . Sudut putar aliran divariasikan dari 0° sampai 60°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum gaya angkat naik bila sudut putar naik. Pada sudut putar tertentu gaya angkat mencapai maksimum dan setelah sudut tersebut gaya angkat turun. Selanjutnya, untuk sudut putar tertentu, bila sudut potong naik gaya angkat juga naik.

**Kata kunci:** Sudut putar, sudut potong, gaya angkat.

## ABSTRACT

*An experimental study on the effect of turning angle on lift force for various cut angles on spheres is performed. The cut angles used were : 30°, 45°, 53°, 55°, and 75°. Lift force was measured using a wind tunnel force balance and the wind speed was set so that a corresponding Reynolds number of  $5.3 \times 10^4$  was achieved. Wind turning angle was varied from 0° to 60°. Experimental results show that, in general, lift increases as the turning angle increases. At a particular turning angle lift attains a maximum and beyond that turning angle lift decreases. Next, for particular turning angle, as the sphere cut angle increases the lift also increases.*

**Keywords:** Turning angle, cut angle, lift force.

## PENDAHULUAN

Semua benda dalam aliran fluida akan mengalami gaya-gaya karena interaksi antara benda tersebut dengan aliran. Gaya-gaya tersebut dapat dikategorikan sebagai gaya-gaya tahanan (*drag*) dan angkat (*lift*). Sehingga pengetahuan tentang gaya-gaya yang bekerja pada benda yang tenggelam dalam aliran fluida adalah sangat penting [1, 2].

Pengurangan gaya-gaya yang bekerja pada benda dapat dilakukan dengan mengontrol lapisan batas yang terjadi pada permukaan benda. Modifikasi bentuk benda adalah salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengontrol lapisan batas yang berkembang pada permukaan benda.

Banyak benda mempunyai bentuk silinder bundar yang terletak dalam aliran. Beberapa di antaranya adalah tiang penyangga bangunan lepas pantai, tiang penyangga jembatan, dan pipa-pipa (*tubes*) dalam penukar panas. Bila benda berbentuk silinder bundar dipotong pada bagian yang tegak lurus aliran yang datang, sampai nilai sudut potong tertentu, gaya tahanan yang bekerja pada silinder

tersebut dapat berkurang [3]. Benda-benda yang berbentuk bola (*spheres*) juga banyak yang dialiri fluida. Tangki-tangki gas pada industri petrokimia atau industri gas yang terletak di ladang, *sonar transducer* untuk menduga kedalaman lautan adalah contoh-contoh benda berbentuk bola yang dialiri fluida. Pengurangan gaya tahanan dengan memotong permukaan yang tegak lurus aliran juga dapat dilakukan pada bola [4, 5].

Pengurangan gaya tahanan pada semua benda yang dijelaskan di atas adalah menguntungkan dari sisi teknik. Bahan yang digunakan dalam suatu struktur juga berkurang akibat pemotongan, sehingga menguntungkan dari sisi ekonomi.

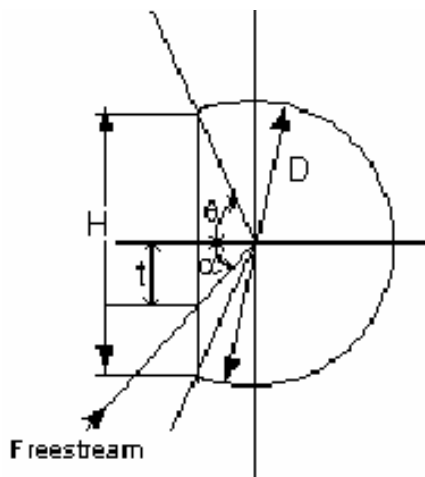
Dalam kenyataan, aliran fluida tidak selalu tegak lurus permukaan benda yang terpotong, sehingga membentuk sudut putar aliran terhadap permukaan (seperti suatu airfoil simetris yang dialiri fluida dengan sudut serang). Adanya sudut putar aliran ini akan menghasilkan gaya yang searah aliran (yaitu gaya tahanan) dan gaya yang tegak lurus aliran (yaitu gaya angkat).

Hasil eksperimen pada bola teriris menunjukkan bahwa gaya tahanan naik bila sudut putar naik. Gaya tahanan ini mencapai nilai maksimum pada sudut potong tertentu, dan setelah sudut potong tersebut gaya tahanan turun [6]. Paper ini mendiskusikan hasil eksperimen tentang pengaruh sudut datang aliran dengan beberapa sudut potong terhadap gaya angkat pada bola.

## METODE PENELITIAN

### Analisis tanpa dimensi

Metode analisis tanpa dimensi dilakukan untuk menganalisa parameter-parameter yang berhubungan dengan eksperimen. Metode ini akan dapat menentukan persamaan korelasi tanpa dimensi yang berpengaruh dalam eksperimen. Metode ini dikenal sebagai teorema *Buckingham Pi* [2]. Dengan memperhatikan Gambar 1, parameter-parameter yang berpengaruh dalam eksperimen adalah:



Gambar 1. Model Test dalam Test Section

$F_L, \rho_\infty, \mu_\infty, V_\infty, D, H, t$

Di mana:

$F_L$  : Gaya angkat

$\rho_\infty$  : Massa jenis aliran bebas

$\mu_\infty$  : Viskositas aliran bebas

$V_\infty$  : Kecepatan aliran bebas

$D$  : diameter bola

$H$  : Tinggi pemotongan

$t$  : Tarak titik pada bola terkena aliran datang terhadap garis horisontal melalui pusat bola

Dari analisis tanpa dimensi didapat hubungan fungsional parameter-parameter tanpa dimensi:

$$\frac{F_L}{\rho_\infty V_\infty^2 D^2} = f\left(\frac{\mu}{\rho_\infty V_\infty D}, \frac{H}{D}, \frac{t}{D}\right) \quad (1)$$

di mana:

$\frac{F_L}{\rho_\infty V_\infty^2 D^2}$  adalah gaya angkat tak berdimensi. Bila

parameter ini dibagi dengan bilangan  $1/2 (\frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^2 D^2)$  adalah gaya tekan dinamik) didapat koefisien gaya angkat,  $C_L$ , yang juga tak berdimensi

$$\frac{\mu}{\rho_\infty V_\infty D} = \frac{1}{Re} \quad (Re, \text{bilangan Reynolds, tak berdimensi})$$

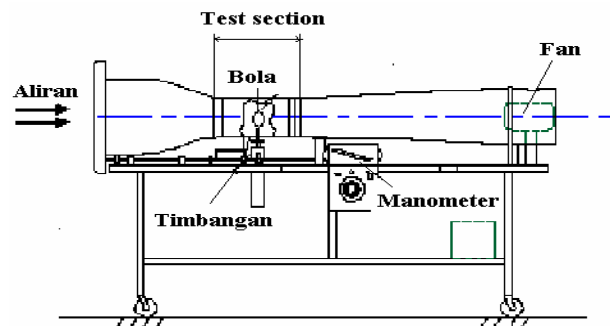
$\frac{H}{D}$  : Sudut potong ( $\theta$ , tak berdimensi)

$\frac{t}{D}$  : Sudut putar ( $\alpha$ , tak berdimensi)

Jadi hasil-hasil eksperimen dapat dinyatakan dalam:

$$C_L = f(Re, \theta, \alpha) \quad (2)$$

### Prosedur eksperimen



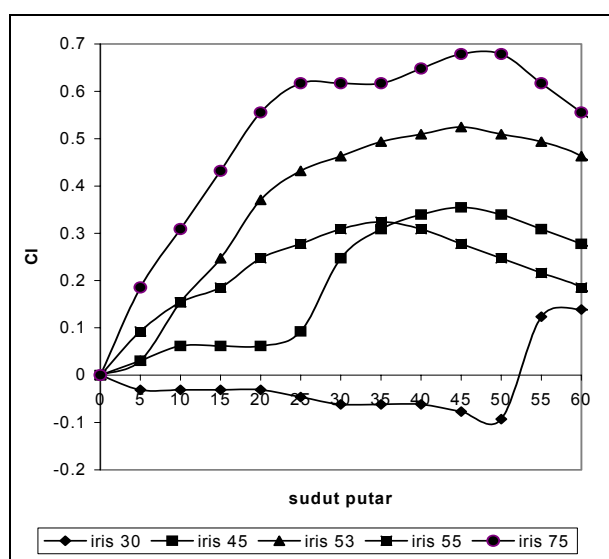
Gambar 2. Model Test dalam Terowongan Angin

Eksperimen dilakukan dalam terowongan angin subsonik dan benda uji diletakkan didalam *test section* yang berukuran 30 cm x 30 cm (Gambar 2). Intensitas turbulensi aliran bebas, yaitu perbandingan antara fluktuasi kecepatan terhadap kecepatan aliran bebas, adalah sekitar 0,8 pada semua eksperimen. Kecepatan aliran bebas diukur dengan menggunakan Tabung Pitot yang dihubungkan ke manometer miring berisi minyak tanah. Enam buah bola berdiameter 60 mm digunakan dalam studi ini dan terbuat dari akrilik. Salah satu bola tersebut adalah bundar (tanpa sudut potong), sementara yang lain dipotong dengan sudut yang berbeda pada permukaan depannya, yaitu,  $\theta$ : 30°, 45°, 53°, 55°, dan 75°. Sudut-sudut potong ini besarnya mengacu pada penelitian sebelumnya [4, 5]. Permukaan semua bola adalah dihaluskan dengan hati-hati untuk menjamin kehalusan secara aerodinamik, sehingga pengaruh kekasaran permukaannya dapat diabaikan dalam studi ini.

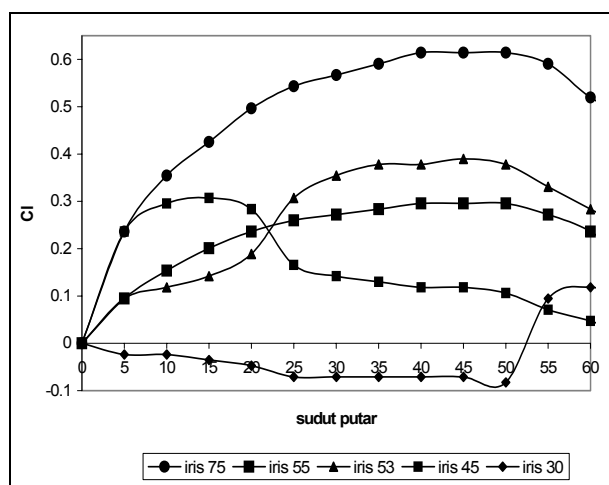
Gaya angkat yang bekerja pada bola diukur dengan menggunakan timbangan gaya, dan terowongan angin dijalankan pada bilangan Reynolds  $5,3 \times 10^4$  dan  $6,0 \times 10^4$  (berbasis pada kecepatan fluida  $V_\infty$  dan diameter bola  $D$ ). Interaksi antara

lapisan batas yang berkembang pada dinding terowongan angin dengan lapisan batas pada permukaan bola adalah dapat diabaikan, karena jarak antara permukaan bola terhadap dinding terowongan angin adalah sangat besar dibanding tebal lapisan batas yang berkembang pada kedua permukaan tersebut. Kecepatan fluida pada pusat *test section* diukur dengan menggunakan Tabung Pitot yang dihubungkan ke manometer miring yang berisi minyak tanah. Temperatur udara diukur dengan menggunakan termometer, dan temperatur ini digunakan untuk mengevaluasi sifat-sifat udara. Sudut putar ( $\alpha$ ) divariasikan dari  $0^\circ$  sampai  $60^\circ$  dengan interval  $5^\circ$ .

### HASIL DAN DISKUSI



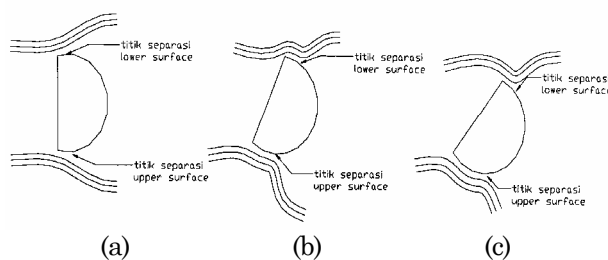
Gambar 3. Variasi  $C_l$  terhadap  $\alpha$  untuk berbagai  $\theta$  pada  $Re= 5,3 \times 10^4$



Gambar 4. Variasi  $C_l$  terhadap  $\alpha$  untuk berbagai  $\theta$  pada  $Re= 6,0 \times 10^4$

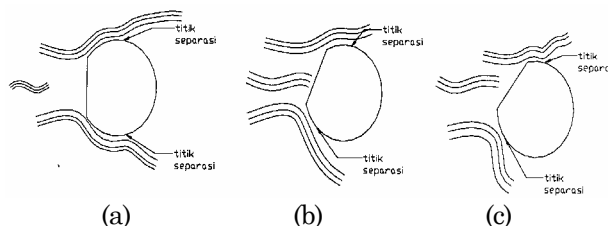
Distribusi koefisien gaya angkat ( $C_l$ ) sebagai fungsi sudut putar ( $\alpha$ ) dan sudut potong ( $\theta$ ) ditunjukkan dalam Gambar 3 untuk  $Re= 5,3 \times 10^4$  dan Gambar 4 untuk  $Re= 6,0 \times 10^4$ . Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa kecenderungan gaya angkat yang terjadi adalah serupa untuk kedua bilangan Reynolds.

Untuk sudut-sudut potong  $45^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $55^\circ$ , dan  $75^\circ$ , semua harga  $C_l$  cenderung naik bila sudut putar naik. Kenaikan  $C_l$  ini terjadi sampai  $\alpha$  mencapai harga tertentu, kemudian harga  $C_l$  menurun. Kenaikan  $C_l$  pada sudut-sudut potong tersebut disebabkan oleh adanya *streamlines* yang tak-simetris antara bagian atas dan bawah bola. Lintasan partikel fluida pada bagian atas bola adalah lebih panjang dari pada bagian bawah bola (lihat Gambar 5). Sebagai konsekuensinya, distribusi tekanan pada permukaan bawah adalah lebih besar dari pada permukaan atas bola, hasilnya adalah gaya angkat. Fenomena turunnya  $C_l$  pada  $\alpha$  yang lebih besar adalah seperti fenomena turunnya gaya angkat (*stall*) pada airfoil yang beroperasi pada sudut serang yang sangat besar.



Gambar 5. Streamlines melintasi Bola dengan Sudut-sudut Potong  $45^\circ$ ,  $53^\circ$ ,  $55^\circ$ , dan  $75^\circ$

Untuk sudut putar terkecil ( $\alpha = 30^\circ$ ), permukaan terpotong adalah relatif kecil dibanding luas frontal bola. Pada bagian atas bola terpotong, partikel fluida membentuk lintasan berbentuk kurva, sedang di bagian bawah partikel fluida membentuk lintasan kurva dan garis lurus (lihat Gambar 6). Perbedaan struktur *streamlines* antara bagian atas dan bawah bodi menyebabkan distribusi tekanan pada bagian bawah bola lebih rendah dari pada di bagian atas, yang menghasilkan gaya angkat negatif pada bola. Namun, pada  $\alpha$  yang lebih besar, kecenderungan harga  $C_l$  adalah seperti kecenderungan untuk sudut-sudut potong ( $\theta$ ) yang lebih besar.



Gambar 6. Streamlines melintasi Bola dengan Sudut Potong  $30^\circ$

Pada  $\theta = 75^\circ$ , gaya angkat adalah terbesar dibanding sudut-sudut potong yang lain pada semua  $\alpha$ . Pudjanarsa dan Raharjo [6] juga menunjukkan bahwa gaya seret adalah maksimum pada  $\theta = 75^\circ$  dibanding  $\theta$  yang lain pada semua  $\alpha$ . Hal ini disebabkan pada sudut putar  $0^\circ$  untuk bola dengan sudut iris  $75^\circ$  menyebabkan profil di depan aliran didominasi oleh bidang datar (hampir setara dengan luasan proyeksi profil) dibandingkan dengan bidang lengkung. Aliran yang datang ke profil disambut dengan geometri profil dengan takikan tajam sehingga separasi langsung terjadi pada titik itu. Jika dibandingkan antara profil dengan sudut iris  $55^\circ$  dengan profil dengan sudut iris  $75^\circ$  misalnya, pada sudut iris  $55^\circ$  aliran masih dapat 'dituntun' oleh bidang lengkung di tepi profil sehingga terjadi separasi di belakang irisan masih mungkin terjadi. Namun pada sudut iris  $75^\circ$  proses 'penuntunan' aliran itu tidak terjadi karena luasan permukaan yang dibentuk bidang datar hampir menyamai seluruh luasan proyeksi seluruh profil atau takikan yang terkena aliran lebih tajam. Bila eksperimen dilakukan pada sudut potong lebih besar dari  $75^\circ$  dapat diperkirakan bahwa gaya-gaya tahanan dan angkat juga akan lebih besar dibanding sudut-sudut potong yang lebih kecil.

Pada  $\theta = 55^\circ$ , gaya angkat adalah lebih rendah dari pada untuk  $\theta = 53^\circ$  pada semua  $\alpha$ , walaupun gaya tahanan adalah sedikit berbeda antara kedua  $\theta$  tersebut. Lebih dari itu,  $\theta = 53^\circ$  memberikan keuntungan dibanding  $\theta$  yang lain bila bola dialiri aliran pada  $\alpha = 0^\circ$ . S. Aiba menyimpulkan bahwa lapisan batas turbulen eksis pada permukaan lengkung bola pada sudut potong  $45^\circ$  hingga  $55^\circ$  dan titik separasi akan bergeser ke arah *down stream* seiring makin besarnya sudut potong pada rentang sudut potong  $45^\circ$  hingga  $53^\circ$ . Nilai minimum  $C_D$  dihasilkan pada sudut iris  $53^\circ$ , gaya tahanan pada  $\theta = 45^\circ$  adalah masih tinggi bila bola dialiri aliran fluida pada sudut putar  $0^\circ$  [4]. Pada  $\theta = 45^\circ$ ,  $C_L$  adalah masih kecil, khususnya pada sudut putar antara  $0^\circ$  sampai  $25^\circ$ .

## KESIMPULAN

Secara umum, adanya sudut putar aliran pada permukaan terpotong dari bola terpotong menghasilkan gaya angkat. Gaya ini naik bila sudut putar naik sampai sudut potong tertentu. Setelah mencapai sudut putar maksimum, gaya angkat turun secara bertahap. Pada sudut potong  $30^\circ$ , gaya angkat adalah negatif dalam rentang  $0^\circ \leq \alpha \leq 52^\circ$ , kemudian gaya angkat menjadi positif setelah  $\alpha = 52^\circ$ .

Pada sudut potong yang sangat kecil dan sangat besar, suatu kerugian dihasilkan. Kerugian itu adalah karena adanya gaya tahanan yang tinggi. Pada sudut-sudut potong yang besar, gaya-gaya tahanan dan angkat adalah tinggi. Hal ini juga terjadi bila aliran yang datang tanpa sudut putar.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Roshko, A. On the Drag and the Wake of Bluff Bodies, *J Aeronautical Sciences*, 124-132, February 1955.
2. Fox, R. W., McDonald, A. T., Pritchard, P. J. *Introduction to Fluid Mechanics*, 6<sup>th</sup> ed., 409-466, Ch. 9, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2004.
3. Aiba S., Watanabe, H. Flow Characteristics of a Bluff Body Cut from a Circular Cylinder, *J Fluid Eng* 119, 1997, pp. 453-454.
4. Aiba, S. Fluid Dynamic Drag of an Axially Symmetrical Bluff Body Consisting of a Plane Surface and Spherical Surface, *J Fluid Eng* 120, 1998, pp.851-853.
5. Adityawarman, N. *Experimental Study on the Effect of Variation Cutting Angles of the Spheres to the Drag*, Bachelor Final Project, Department of Mechanical Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya-Indonesia, 2000.
6. Pudjanarsa, A., Raharjo, S. Experimental Study on the Effect of Turning Angle at Various Cutting Angles of the Sphere to the Drag, *J Shaft* 9, 178-182, Department of Mechanical Engineering, Tarumanagara University, Indonesia, 2006.